



Europäisches  
Patentamt

European  
Patent Office

Office européen  
des brevets

(05.04.04)

MAILED 20 APR 2004

WIPO PCT

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten europäischen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the European patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet européen spécifiée à la page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

03101012.7

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Der Präsident des Europäischen Patentamts;  
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets  
p.o.

R C van Dijk



Anmeldung Nr:  
Application no.: 03101012.7  
Demande no:

Anmeldetag:  
Date of filing: 15.04.03  
Date de dépôt:

## Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

Philips Intellectual Property & Standards  
GmbH  
Steindamm 94  
20099 Hamburg  
ALLEMAGNE  
Koninklijke Philips Electronics N.V.  
Groenewoudseweg 1  
5621 BA Eindhoven  
PAYS-BAS

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:  
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.  
If no title is shown please refer to the description.  
Si aucun titre n'est indiqué se referer à la description.)

## Verfahren und Anordnung zur Beeinflussung von magnetischen Partikeln

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed /Priorité(s)  
revendiquée(s)

Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/  
Classification internationale des brevets:

A61B5/00

Am Anmeldetag benannte Vertragstaaten/Contracting states designated at date of  
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LI LU MC  
NL PT RO SE SI SK TR

BESCHREIBUNG

## Verfahren und Anordnung zur Beeinflussung von magnetischen Partikeln

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Beeinflussung magnetischer Partikel in einem Wirkungsbereich.

5

Magnetische Partikel lassen sich verhältnismäßig einfach detektieren und lassen sich deshalb für (insbesondere medizinische) Untersuchungen einsetzen. Ein solches Gerät und Verfahren zur Ermittlung der räumlichen Verteilung magnetischer Partikel in einem Untersuchungsbereich (bzw. Wirkungsbereich) sowie die Verwendung geeigneter magnetischer Partikel darin sind in

10 der bisher unveröffentlichten deutschen Patentanmeldung DE10151778.5 (Aktenzeichen des Anmelders PHDE010289) beschrieben. Diese Patentanmeldung wird im weiteren D1

genannt. Zur Ermittlung der räumlichen Verteilung von magnetischen Partikeln in einem Untersuchungsbereich wird ein räumlich inhomogenes Magnetfeld erzeugt, mit wenigstens einem Bereich, in dem die Magnetisierung der Partikel sich in einem Zustand der Nicht-

15 Sättigung befindet. Durch Verschiebung dieses Bereiches innerhalb des Untersuchungsbereichs ergibt sich eine Magnetisierungsänderung, die von außen detektiert werden kann und Informationen über die räumliche Verteilung der magnetischen Partikel im Untersuchungsbereich enthält.

20 Weiterhin können magnetische Partikel zur Erwärmung ihrer Umgebung eingesetzt werden, insbesondere bei der medizinischen Hyperthermie. Ein solches Verfahren sowie ein System zur lokalen Erwärmung von Bereichen eines Objektes durch Änderung der Magnetisierung von magnetischen oder magnetisierbaren Substanzen ist in der bisher unveröffentlichten deutschen Patentanmeldung DE10238853.9 (Aktenzeichen des Anmelders PHDE020195)

25 beschrieben. Diese Patentanmeldung wird im weiteren D2 genannt. Zur lokalen Erwärmung des Zielbereichs (bzw. Wirkungsbereichs) wird ein inhomogenes Magnetfeld mit einem solchen räumlichen Verlauf der magnetischen Feldstärke erzeugt, dass sich in dem Zielbereich

ein erster Teilbereich mit niedriger magnetischer Feldstärke (hier befinden sich die magnetischen Partikel nicht in Sättigung) mit höherer magnetischer Feldstärke ergibt. Dann wird die räumliche Lage der beiden Teilbereiche in dem Zielbereich solange mit einer bestimmten Frequenz verändert, bis sich die Partikel durch häufige Änderung der

- 5 Magnetisierung bis zu einer gewünschten Temperatur erwärmen.

Allerdings kann es bei den in D1 und D2 offenbarten Verfahren gegebenenfalls zu unerwünschten Erwärmungen kommen.

- 10 Die Aufgabe der Erfindung besteht daher in der Entwicklung eines Verfahrens mit der Möglichkeit, eine solche Erwärmung zu verringern oder zu vermeiden, sowie in der Entwicklung eines Gerätes, mit dem dieses Verfahren durchführbar ist.

Diese Aufgabe wird gelöst mit einem Verfahren zur Beeinflussung von in ein Objekt  
15 eingebrachten magnetischen Partikeln in einem Wirkungsbereich mit den Schritten:

- a) Detektion von störendem Material in oder an dem Objekt,  
b) Erzeugung eines Magnetfeldes mit einem solchen räumlichen Verlauf der magnetischen  
Feldstärke, dass sich in dem Wirkungsbereich ein erster Teilbereich (301) mit  
niedriger magnetischer Feldstärke und ein zweiter Teilbereich (302) mit höherer  
20 magnetischer Feldstärke ergibt,  
c) Veränderung der räumlichen Lage der beiden Teilbereiche in dem Wirkungsbereich,  
so dass die Magnetisierung der Partikel sich örtlich ändert,  
d) gegebenenfalls Erfassung von Signalen, die von der durch die diese Veränderung  
beeinflussten Magnetisierung im Wirkungsbereich abhängen.

25

Die Erfindung basiert auf der Erkenntnis, dass bei der Durchführung der in D1 und D2  
offenbarten Verfahren die Erwärmung von Gegenständen aus störendem Material, die sich in  
oder an dem untersuchten bzw. behandelten Objekt befinden, zu beobachten ist. Die

Erwärmung kann dabei so stark sein, dass das Objekt geschädigt wird. Störendes Material im Sinne der Erfindung ist ferromagnetisches Material sowie Material mit guter Stromleitfähigkeit, insbesondere Metall oder Legierungen hiervon. Ist das Objekt ein Patient, so erwärmen sich beispielsweise Zahnfüllungen aus Amalgam, künstliche Gelenke, in oder an einem Knochen

5 angebrachte Schienen oder Schrauben, oder auch außen am Patienten befindlichen Gegenstände wie Schmuck (Ohrringe, Piercing). Eine geplante Untersuchung oder Behandlung nach den in D1 und D2 offenbarten Verfahren kann unter Umständen trotzdem durchgeführt werden, wenn während der Untersuchung oder Behandlung einer möglichen Erwärmung beispielsweise durch Änderung von Systemparametern vorgebeugt oder das

10 störende Material vorher entfernt wird.

In einem ersten Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens wird eventuell vorhandenes störendes Material detektiert. Dazu gibt es unterschiedliche Möglichkeiten. Wird störendes Material in den Einflussbereich eines induktiven Mittels, beispielsweise einer Spule, gebracht,

15 so ändert sich das resultierende Gesamtmagnetfeld. Dies ist gleichbedeutend mit einer Veränderung der gemessenen Induktivität des induktiven Mittels, wenn das störende Material in seinen Einflussbereich gebracht wird. Dieser Effekt wird gemäß Anspruch 2 ausgenutzt, um das Vorhandensein von störendem Material zu ermitteln. Dazu können einerseits bekannte Detektoren eingesetzt werden. Ist eines der zur Beeinflussung der magnetischen Partikel

20 eingesetzten Mittel ein induktives Mittel, so kann andererseits dieses induktive Mittel gemäß Anspruch 3 als Detektor verwendet werden. Dadurch werden Geräte-Komponenten eingespart und ein zur Durchführung des Verfahrens genutztes Gerät kann preiswerter hergestellt werden.

25 Alternativ kann die Detektion von störendem Material gemäß Anspruch 4 erfolgen. Zur Detektion werden ähnliche Verfahrensschritte, wie sie bei der eigentlichen Behandlung oder Untersuchung vorkommen, ausgeführt. Es ist jedoch unbedingt darauf zu achten, dass sich das Material nicht schon während der Detektion selbst unzulässig erwärmt. Dies kann einerseits

- mit einer verringerten Ortsauflösung erreicht werden, denn mit denjenigen Maßnahmen, mit denen die Ortsauflösung verringert wird, wird auch die Erwärmung von störendem Material verringert. Wie aus den Dokumenten D1 und D2 ersichtlich, kann die Ortsauflösung beispielsweise durch eine Verringerung der Feldstärke des Magnetfeldes, durch das sich die
- 5 beiden Teilbereiche ergeben, erfolgen. Damit die räumliche Lage der beiden Teilbereiche nicht aus dem Wirkungsbereich hinaus verändert werden kann, wird gleichzeitig auch die Amplitude der Feldstärke der zeitlich veränderlichen Magnetfelder verringert, mit denen die räumliche Lage der beiden Teilbereiche verändert wird, was zusätzlich ebenfalls die Erwärmung reduziert. Eine andere Maßnahme zur Verringerung der Ortsauflösung ist, während der
- 10 Veränderung der räumlichen Lage der Teilbereiche ein größeres Abtastraster zu verwenden. Andererseits kann einer unzulässigen Erwärmung während der Detektion auch vorgebeugt werden, indem die Veränderung der räumlichen Lage der beiden Teilbereiche im Vergleich zur Untersuchung oder Behandlung langsamer ausgeführt wird.
- 15 Die gerade genannten Maßnahmen haben einen weiteren positiven Effekt: Statische und dynamische Kräfte, die die Magnetfelder auf das störende Material ausüben, werden ebenfalls reduziert. Dies ist beispielsweise von Interesse, wenn das Objekt ein Patient ist, in dem sich ein Bombensplitter befindet, der sich als Folge einer zu großen Feldstärke der Magnetfelder und den daraus resultierenden Kräften auf den Splitter bewegen könnte.
- 20 Das Verfahren gemäß Anspruch 5 dient zur Detektion von insbesondere ferromagnetischem Material. Da bei der Detektion in dem Objekt keine magnetischen Partikel enthalten sind, stammen die erfassten Signale ausschließlich von dem störenden Material.
- 25 Mit dem Verfahren nach Anspruch 6 ist es möglich, unmittelbar auf die Detektion des störenden Materials folgend die eigentliche Untersuchung oder Behandlung des Objekts durchzuführen, wodurch sich ein effizienterer Verfahrensablauf ergibt. Sind in dem Objekt sowohl magnetische Partikel als auch störendes Material vorhanden, so zeigt sich gemäß Anspruch 7 bei einer spektralen Untersuchung des erfassten Signals, dass das Spektrum

- spektrale Komponenten, die von den magnetischen Partikeln herrühren, als auch spektrale Komponenten, die von dem störenden Material herrühren, enthält. Zum Nachweis von störendem Material werden beispielsweise von dem gesamten Spektrum des erfassten Signals die bekannten spektralen Komponenten der magnetischen Partikel subtrahiert, wodurch die
- 5 spektralen Komponenten des störenden Materials übrig bleiben und zumindest auf das Vorhandensein desselben schließen lassen.

- Ist störendes Material detektiert worden, so sollte das störende Material möglichst entfernt werden. Ist dies nicht möglich, so muss gegebenenfalls zum Schutz des Objekts auf eine
- 10 geplante Untersuchung oder Behandlung verzichtet werden. Soll trotz des Vorhandenseins von störendem Material, welches sich in oder in der Nähe des Wirkungsbereiches befindet, eine Untersuchung oder Behandlung durchgeführt werden, so kann durch geeignete Maßnahmen die Gefahr einer unzulässigen Erwärmung vermieden werden. Das störende Material kann beispielsweise aktiv mit einem lokalen magnetischen Gegenfeld oder passiv (wie mit
- 15 Abschirmblechen) abgeschirmt werden. Dadurch wird der Einfluss der zeitlich veränderlichen Magnetfelder auf das störende Material so weit reduziert, dass das störende Material sich nicht erwärmt oder die Behandlung oder Untersuchung nicht stört. Alternativ oder zusätzlich kann das Verfahren gemäß Anspruch 8 durchgeführt werden, indem beispielsweise die Frequenz der verwendeten zeitlich veränderlichen Magnetfelder reduziert wird. Dies kann von
- 20 einer zur Durchführung des Verfahrens geeigneten Anordnung automatisch ausgeführt werden.

- Auch mit dem Verfahren nach Anspruch 9 kann eine übermäßige Erwärmung vermieden werden. Die geringere Ortsauflösung kann beispielsweise dadurch realisiert werden, dass die Feldstärke des Magnetfeldes reduziert oder die Veränderung der räumlichen Lage der beiden
- 25 Teilbereiche entsprechend eines größeren Abtastrasters erfolgt. Dies kann ebenfalls durch eine entsprechende Änderung von Systemparametern automatisch geschehen. Durch die geringeren Feldstärken der verwendeten Magnetfelder sowie durch deren verlangsamten zeitlichen Verlauf wird das störende Material so gering beeinflusst, dass eine übermäßige Erwärmung ausgeschlossen wird.

Neben der möglichen Erwärmung von störendem Material hat sich bei weiteren Untersuchungen ein anderer unerwünschter Effekt gezeigt: Gelangt störendes Material in den Einflussbereich eines äußeren Magnetfeldes, so bildet sich in den und/oder um das störende

- 5 Material beispielsweise durch Wirbelströme oder durch Magnetisierung ein magnetisches Gegenfeld aus, welches sich mit dem äußeren Magnetfeld zu einem Gesamtmagnetfeld überlagert. Dieses Gesamtmagnetfeld hat gegenüber dem äußeren Magnetfeld einen anderen Feldlinienverlauf, wodurch sich die räumliche Lage der beiden Teilbereiche ändert bzw. unkontrolliert verschiebt oder verlagert. Für eine gezielte Beeinflussung der magnetischen  
10 Partikel ist es jedoch notwendig, die genaue Position der Teilbereiche zu kennen. Diese notwendige Kenntnis der aktuellen räumlichen Lage der beiden Teilbereiche ist nur noch eingeschränkt oder gar nicht mehr gegeben, was sich negativ auf die Präzision und den Erfolg der Behandlung oder Untersuchung auswirkt. Durch die Detektion des störendes Materials kann also nicht nur auf eine unerwünschte Erwärmung reagiert, sondern auch ein Benutzer auf  
15 eine mögliche Ungenauigkeit des Systems hingewiesen werden.

Die Aufgabe wird gemäß Anspruch 10 weiterhin gelöst mit einer Anordnung zur Beeinflussung von magnetischen Partikeln in einem Wirkungsbereich mit

- a) Mitteln zur Detektion von störendem Material,  
20 b) Mitteln zur Erzeugung eines Magnetfeldes mit einem solchen räumlichen Verlauf der magnetischen Feldstärke, dass sich in dem Wirkungsbereich ein erster Teilbereich (301) mit niedriger magnetischer Feldstärke und ein zweiter Teilbereich (302) mit höherer magnetischer Feldstärke ergibt,  
c) Mitteln zur Veränderung der räumlichen Lage der beiden Teilbereiche in dem  
25 Wirkungsbereich,  
d) gegebenenfalls Mitteln zur Erfassung von Signalen, die von der durch die Veränderung der räumlichen Lage der Teilbereiche beeinflussten Magnetisierung im Wirkungsbereich abhängen.

Mit den Weiterbildungen dieser Anordnung gemäß der Ansprüche 11, 12 und 13 können die zuvor beschriebenen Verfahren ausgeführt werden.

Die Erfindung wird anhand folgender Figuren näher erläutert. Es zeigen:

5

Fig. 1 das Ablaufdiagramm einer ersten Ausführungsform der Erfindung,

Fig. 2 das Ablaufdiagramm einer zweiten Ausführungsform der Erfindung,

Fig. 3 das Ablaufdiagramm einer dritten Ausführungsform der Erfindung,

Fig. 4 ein Gerät zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

10

Fig. 5 den durch eine der darin enthaltenen Spulen erzeugten Feldlinienverlauf,

Fig. 6 ein Prinzipschaltbild der Anordnung nach Fig. 4.

In Fig. 4 ist ein Gerät zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt.

Dort ist ein Untersuchungsobjekt 1 bezeichnet, in diesem Fall ein Patient, der sich auf einem

15

Patientenlagerungstisch befindet, von dem lediglich die Tischplatte 2 teilweise angedeutet ist.

Weiterhin befinden sich oberhalb und unterhalb des Patienten 1 bzw. der Tischplatte mehrere Spulenpaare, deren Wirkungsbereich den Untersuchungsbereich definiert. Ein erstes

Spulenpaar 3 umfasst die beiden koaxial oberhalb und unterhalb des Patienten angeordneten, identisch aufgebauten Wicklungen 3a und 3b, die von gleich großen Strömen, jedoch mit

20

entgegengesetztem Umlaufsinn durchflossen werden. Das dadurch erzeugte Gradienten-

Magnetfeld ist in Fig. 5 mit Hilfe der Feldlinien 300 dargestellt. Es hat in Richtung der

(senkrechten) Achse des Spulenpaares einen nahezu konstanten Gradienten, und in einem

Punkt auf dieser Achse erreicht es den Wert Null. Von diesem feldfreien Punkt ausgehend nimmt die Stärke des Magnetfeld in allen drei Raumrichtungen mit zunehmendem Abstand zu.

25

In einem gestrichelt angedeuteten Bereich 301 (dem ersten Teilbereich) um den feldfreien

Punkt herum ist die Feldstärke so gering, dass die Magnetisierung von dort befindlichen

magnetischen Partikeln nicht gesättigt ist, während sie außerhalb des Bereichs 301 in einem

Zustand der Sättigung ist. In dem außerhalb von 301 verbleibenden Bereich (dem zweiten

Teilbereich 302) befindet sich die Magnetisierung der Partikel im Zustand der Sättigung.

Überlagert man dem Gradienten-Magnetfeld im Wirkungsbereich ein weiteres Magnetfeld, dann verschiebt sich der Bereich 301 in Richtung dieses Magnetfeldes, wobei die Größe der Verschiebung mit der Stärke des Magnetfeldes zunimmt. Wenn das überlagerte Magnetfeld 5 zeitlich veränderlich ist, ändert sich die Position Bereichs 301 zeitlich und örtlich entsprechend. Zur Erzeugung dieser zeitlich veränderlichen Magnetfelder für jede beliebige Richtung im Raum sind drei weitere Spulenpaare 4, 5 und 6 mit den Wicklungen 4a und 4b, 5a und 5b sowie 6a und 6b. Für ihre Anordnung und Funktion sowie ihre Betriebsweise wird auf die Dokumente D1 und D2 verwiesen.

10

Schließlich ist in Fig. 4 noch eine weitere Spule 7 dargestellt, die dazu dient, im Untersuchungsbereich erzeugte Signale zu detektieren. Im Prinzip könnte dazu jedes der felderzeugenden Spulenpaare 3 bis 6 verwendet werden. Jedoch hat die Verwendung einer gesonderten Empfangsspule Vorteile. Es ergibt sich ein günstigeres Signal-Rausch-Verhältnis 15 (insbesondere wenn mehrere Empfangsspulen verwendet werden), und die Spule kann so angeordnet und geschaltet werden, dass sie von den anderen Spulen entkoppelt ist.

Fig. 6 zeigt ein Prinzipschaltbild des Gerätes nach Fig. 4. Das schematisch dargestellte das Spulenpaar 3 (die Anhänge a, b sind in Fig. 6 bei allen Spulenpaaren der Einfachheit halber 20 weggelassen) wird von einer steuerbaren Stromquelle 31 mit einem Gleichstrom versorgt, der von der Steuereinheit 10 steuerbar – und ein- und ausschaltbar ist. Die Steuereinheit 10 arbeitet mit einer Workstation 12 zusammen, die mit einem Monitor 13 zur Wiedergabe von 25 die Verteilung der Partikel im Wirkungsbereich darstellenden Bildern versehen ist. Über eine Tastatur oder ein anderes Eingabegerät 14 sind Eingaben durch einen Benutzer möglich.

25

Die Spulenpaare 4, 5, 6 erhalten ihre Ströme von Stromverstärkern 41, 51 und 61. Der zeitliche Verlauf der zu verstärkenden Ströme  $I_x$ ,  $I_y$  und  $I_z$ , die die gewünschten Magnetfelder hervorrufen, wird von je einem Waveform-Generator 42, 52 bzw. 62 vorgegeben. Die

Waveform-Generatoren 42, 52, 62 werden von der Steuereinheit 10 gesteuert, die den für das jeweilige Untersuchungs- oder Behandlungsverfahren erforderlichen zeitlichen Verlauf der Ströme berechnet und in die Waveform-Generatoren lädt. Bei der Untersuchung oder Behandlung werden diese Signale aus den Waveform-Generatoren ausgelesen und den

- 5 Verstärkern 41, 51, 61 zugeführt, die daraus die für die Spulenpaare 4, 5 und 6 erforderlichen Ströme erzeugen.

Im allgemeinen besteht zwischen der Verschiebung des Bereiches 301 aus seiner Position im Zentrum der Gradientenspulen-Anordnung 3 und dem Strom durch die Gradientenspulen-

- 10 Anordnung ein nichtlinearer Zusammenhang. Außerdem müssen in der Regel alle drei Spulen ein Magnetfeld erzeugen, wenn der Bereich 301 entlang einer außerhalb des Zentrums verlaufenden Geraden verschoben werden soll. Dies wird bei der Vorgabe des zeitlichen Verlaufs der Ströme durch die Steuereinheit berücksichtigt, beispielsweise mit Hilfe von geeigneten Tabellen. Der Bereich 301 kann daher auf beliebig geformten Wegen durch den  
15 Wirkungsbereich geschoben werden.

Die von der bei der Untersuchung des Objektes zum Einsatz kommenden Spule 7 empfangenen Signale werden über ein geeignetes Filter 71 einem Verstärker 72 zugeführt. Die Ausgangssignale des Verstärkers 72 werden von einem Analog-Digital-Wandler 73

- 20 digitalisiert und einer Bildverarbeitungseinheit 74 zugeführt, die aus den Signalen und der Position, die der Bereich 301 während des Empfangs der Signale jeweils einnimmt, die räumliche Verteilung der Partikel rekonstruiert. Für die genaue Beschreibung der Rekonstruktion aus den mit der Spule 7 empfangenen Signale wird an dieser Stelle auf D1 verwiesen. Aus den rekonstruierten Signalen wird ein Bild erzeugt, welches auf dem Monitor  
25 13 der Workstation 12 angezeigt wird.

Alternativ zur Untersuchung kann das Gerät auch zur lokalen Erwärmung des Wirkungsbereiches eingesetzt werden. Analog zur Bildgebung wird dazu mit Hilfe der Spulenpaare 4, 5 und 6 eine Verschiebung des Bereichs 301 realisiert, wobei die Steuereinheit 10 die

Waveform-Generatoren 42, 52, 62 entsprechend steuert. Für eine detaillierte Beschreibung der Verschiebung des Bereichs 301 zur Ermittlung der räumlichen Verteilung von magnetischen Partikeln (und im weiteren zu Rekonstruktion von Bilddaten) bzw. zur lokalen Erwärmung des Wirkungsbereiches wird auf die Dokumente D1 und D2 verwiesen.

- 5 Fig. 1 zeigt das Ablaufdiagramm einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens. Es wird angenommen, dass der Patient 1 eine Zahnfüllung aus Amalgam besitzt und im Bereich des Halses untersucht werden soll. Unter normalen Umständen befindet sich der Kieferbereich des Patienten 1 während der Untersuchung in oder in unmittelbarer Nähe  
10 zum Wirkungsbereich, sodass die Zahnfüllung von den zeitlich veränderlichen Magnetfeldern der Spulenpaare 4, 5 und 6 beeinflusst wird. Dadurch würden bei der Durchführung einer Untersuchung in der Zahnfüllung Wirbelströme entstehen, wodurch sich die Zahnfüllung erwärmt und den Kieferbereich des Patienten 1 nachhaltig schädigen könnte.
- 15 Daher wird vor der eigentlichen Untersuchung oder Behandlung des Patienten 1 in Schritt M1 die Induktivität eines der induktiven Mitteln des Gerätes aus Fig. 4 bestimmt. Das induktive Mittel sei die Spule 4a, es könnte aber auch jede der anderen dargestellten Spulen sein. Allgemein hängt die (gemessene) Induktivität einer Spule bekanntermaßen von geometrischen Parametern sowie von Materialeigenschaften des Spuleninnenraums oder des sich darin  
20 befindlichen Materials ab. Ebenso bekannt ist, dass bei Versorgung mit elektrischer Energie die Größe der Induktivität einer Spule Einfluss auf den Strom- bzw. Spannungsverlauf hat. Auf diese Zusammenhänge wird hier nicht näher eingegangen, da diese zum allgemeinen Fachwissen gehören. Die Induktivität der Spule 4a kann demnach beispielsweise dadurch bestimmt werden, dass ein rechteckförmiger Spannungsimpuls an die Spule angelegt und der  
25 zeitliche Verlauf des sich ergebenden Stromes ausgewertet wird. Eine weitere Alternative zur Bestimmung der Induktivität besteht darin, mit einer der anderen Spulen des Gerätes aus Fig. 4, beispielsweise Spule 4b, ein magnetisches Wechselfeld zu erzeugen, durch das in der Spule 4a ein Strom induziert wird, anhand dessen Aussagen zur gemessenen Induktivität der Spule 4a getroffen werden können.

Wird allgemein eine Spule in einen Schwingkreis eingebunden, so ändern sich bekanntermaßen dessen Parameter, wenn sich die Induktivität der Spule ändert. Bei dieser Alternative, die in dem hier erläuterten Gerät zum Einsatz kommt, wird die Spule 4a an einen

- 5 Schwingkreis angeschlossen, dessen Impedanz frequenzabhängig bestimmbar ist. Ändert sich die Impedanz des Schwingkreises, ohne dass die übrigen Komponenten des Schwingkreises verändert werden, so hat sich die Induktivität der Spule geändert. Dieses Verfahren ist ebenfalls aus dem Stand der Technik bekannt, auf die Beschreibung weiterer Details wird deshalb verzichtet. Außer der Spule 4a sind die restlichen Komponenten des Schwingkreises
- 10 zusammen mit einer Messeinrichtung zur Messung der Impedanz  $Z_M$  in dem Waveform-Generator 42 untergebracht. Zur Detektion von störendem Material wird die Impedanzmessung mit Hilfe des Bedienelements 14 über die Workstation 12 aktiviert. Die Workstation 12 veranlasst über die Steuereinheit 10, dass der Waveform-Generator 41 selbstständig die frequenzabhängige Impedanz  $Z_M$  des Schwingkreises ermittelt und diesen
- 15 Wert an die Steuereinheit 10 überträgt. Dazu ist die Steuereinheit 10 über eine separate bidirektionale Verbindung  $I_M$  mit dem Waveform-Generator 41 gekoppelt. Die gemessene Impedanz  $Z_M$  wird von der Steuereinheit 10 an die Workstation 12 weitergegeben.

- In einem nächsten Schritt M2 wird die gemessene Impedanz  $Z_M$ , die in der Regel eine komplexe Größe ist, mit einer in der Regel ebenfalls komplexen Referenz-Impedanz  $Z_R$  verglichen und eine (komplexe) Differenz-Impedanz  $\Delta Z$  ermittelt. Je nach Rechenleistung der Workstation 12 kann dies bei vielen oder allen Frequenzen geschehen. Zur Reduzierung des Rechenaufwandes kann dieser komplexe Vergleich aber auch nur bei wenigen ausgewählten Frequenzen, bei denen typischerweise eine große Änderung zu erwarten ist,
- 20 25 stattfinden. Die Referenz-Impedanz  $Z_R$  ist dabei die Impedanz des Schwingkreises, die gemessen wird, wenn sich keine Objekte oder sonstige relevante Gegenstände in dem Wirkungsbereich befinden.

In Schritt M3 wird die ermittelte Differenz-Impedanz  $\Delta Z$  mit einer maximal erlaubten Differenz-Impedanz  $\Delta Z_{MAX}$  verglichen. Diese maximal erlaubte Differenz-Impedanz  $\Delta Z_{MAX}$  ergibt sich aus der Überlegung, dass die Impedanz des Schwingkreises auch schon dadurch

- 5 verändert wird (wenn auch nur minimal), dass Objekte ohne störendes Material in den Wirkungsbereich eingebracht werden. Für Patienten beispielsweise kann für Differenz-Impedanz  $\Delta Z_{MAX}$  ein Wert ermittelt werden, der sich aus Messungen mit mehreren unterschiedlichen Patienten ergibt, wobei sich bei jeder Messung jeweils ein Patient ohne störendes Material und ohne magnetische Partikel in dem Wirkungsbereich befindet.

10

Ist die ermittelte Differenz-Impedanz  $\Delta Z$  kleiner als die maximal erlaubte Differenz-Impedanz  $\Delta Z_{MAX}$ , so ist kein störendes Material detektiert worden und eine nachfolgende Behandlung oder Untersuchung gemäß den Dokumenten D1 und D2 kann in Schritt M4 ohne Bedenken durchgeführt werden. Ist die ermittelte Differenz  $\Delta Z$  größer als die maximal erlaubte

- 15 Differenz-Impedanz  $\Delta Z_{MAX}$ , so wird in einem Schritt M5 der Benutzer des Gerätes über geeignete Darstellungsformen auf dem Anzeigegerät 13 informiert. In einem nächsten Schritt M6 werden von der Workstation 12 Systemparameter dahingehend verändert, dass eine zu erwartende Erwärmung des störenden Materials und dessen Umgebung reduziert beziehungsweise vermieden wird. Dazu werden beispielsweise reduzierte maximale Werte  
20 sowohl für die Magnetfelder als auch für deren zeitliche Verläufe an die Steuereinheit 10 gegeben. Die Steuereinheit 10 steuert entsprechend den vorgegebenen reduzierten Feldstärken der Magnetfelder die reduzierten Ströme durch die Spulenpaare 4 bis 6, indem jeweils die Stromstärke sowie ein verlangsamter zeitlicher Verlauf der Ströme in den Stromverstärkern 42, 52 und 62 und den Waveform-Generatoren 41, 51 und 61 eingestellt  
25 werden. Weiterhin wird durch die steuerbare Stromquelle 31 die Feldstärke des Gradientenmagnetfeldes des Spulenpaars 3 reduziert. Ist mit dieser Einstellung des Systems eine sinnvolle Untersuchung bzw. Behandlung des Objekts nicht mehr möglich, so kann der Benutzer eine Untersuchung bzw. Behandlung hier abbrechen, um gegebenenfalls das störende

Material zu entfernen. Daher ist in Fig. 1 der Pfeil zwischen den Schritten M6 und M4 gestrichelt dargestellt.

Eine Alternative hierzu ist, das störende Material gegenüber dem Gerät aus Fig. 4

- 5 abzuschirmen. Zur oben erwähnten Untersuchung des Halsbereiches des Patienten 1 kann der Benutzer des Gerätes, nachdem das Vorhandensein der Zahnfüllung aus Amalgam detektiert wurde, den Kieferbereich des Patienten 1 abschirmen. Dazu wird ein magnetisches Abschirmblech zwischen dem Kieferbereich des Patienten 1 und dem Wirkungsbereich des Gerätes aus Fig. 4 positioniert. Dadurch wird der Einfluss der zeitlich veränderlichen
- 10 Magnetfelder der Spulenpaare 4, 5 und 6 auf den Kieferbereich soweit reduziert, dass die Erwärmung auf ein erlaubtes Maß reduziert ist.

Fig. 2 zeigt das Ablaufdiagramm einer zweiten Ausführungsform der Erfindung. Auch hier wird in einem Schritt M10 zunächst störendes Material detektiert. Dazu wird der Bereich 301, wie

- 15 in den Dokumenten D1 und D2 beschrieben, räumlich verfahren, allerdings mit reduzierter Ortsauflösung, um während der Detektion des störenden Materials dieses nicht zu erwärmen. Die Reduktion der Ortsauflösung kann auf verschiedene Arten erfolgen:

- ▲ Das Gradientenmagnetfeld des Spulenpaare ist 3 wird reduziert, wodurch sich der Bereich 20 301 räumlich vergrößert.
- ▲ Die Magnetfelder der Spulenpaare 4,5 und 6 haben solche zeitliche Verläufe, dass der Bereich 301 wesentlich weniger Bereiche des Wirkungsbereiches durchläuft, als dies bei einer Untersuchung bzw. Behandlung der Fall ist. Dies entspricht einer Vergrößerung des Abtastrasters.

25

Zusätzlich kann auch die Geschwindigkeit, mit der der Bereich 301 verfahren wird, verringert werden. Dazu werden die Frequenzen der Ströme durch die Spulenpaare 4, 5 und 6 reduziert.

- In dem Gerät aus Fig. 4 befindet sich zunächst ein Patient, dem noch keine magnetischen Partikel verabreicht wurden. Wird nun der Bereich 301 innerhalb des Wirkungsbereiches verfahren, so wird insbesondere ferromagnetisches Material von zeitlich veränderlichen
- 5 Magnetfeldern beeinflusst, wodurch ähnliche Signale entstehen, wie sie in den Dokumenten D1 und D2 bei der Beeinflussung von magnetischen Partikel beschrieben sind. Entsprechend werden diese Signale mit der Spule 7 empfangenen, über das Filter 71 dem Verstärker 72 zugeführt, von dem Analog-Digital-Wandler 73 digitalisiert und der Bildverarbeitungseinheit 74 zugeführt. In Schritt M11 überprüft die Bildverarbeitungseinheit 74, ob der Betrag  $|S|$  der
- 10 Signale einen bestimmten Schwellwert  $|S_{MAX}|$  überschreitet. Auch hier ergibt sich der Schwellwert  $|S_{MAX}|$  aus der Überlegung, dass bei einem im Wirkungsbereich befindlichen Patienten ohne störendes (ferromagnetisches) Material ebenfalls (wenn auch geringe) Signale empfangen werden. Die weiteren Schritte M4, M5 und M6 entsprechen denen aus Fig. 1.
- 15 Fig. 3 zeigt das Ablaufdiagramm einer dritten Ausführungsform der Erfindung. Hierbei wurden zuvor den Patienten magnetische Partikel verabreicht. Zur Detektion von störendem Material wird der erste Schritt M10 ausgeführt, der demjenigen aus Fig. 2 entspricht. Die empfangenen Signale S gelangen auch hier nach einer Vorverarbeitung in die Bildverarbeitungseinheit 74. Die Bildverarbeitungseinheit 74 führt nun in Schritt M12 eine Frequenzanalyse der Signale S
- 20 durch, indem diese in entsprechende spektrale Komponenten zerlegt werden. Zu dem im nächsten Schritt M13 stattfindenden Vergleich liegt der Bildverarbeitungseinheit 74 ein Referenz-Spektrum vor, welches von Signalen von im Wirkungsbereich befindlichen Patienten mit verabreichten magnetischen Partikeln, aber ohne störendes Material, herrührt. Nach einer eventuellen Normierung werden die Beträge der einzelnen Frequenzanteile des gemessenen
- 25 Signals dann von denen des Referenz-Spektrums subtrahiert. Liegt kein störendes Material vor, so ist der Betrag der Differenz für jeden spektralen Anteil nahezu null und der Schritt M4 kann ausgeführt werden. Liegt störendes Material vor, so verbleiben Beträge von zumindest einzelnen Frequenzanteilen, welche von dem störenden Material stammen. In diesem Falle

werden die Schritte M5 und M6 ausgeführt. Die Schritte M4, M5 und M6 entsprechen denen aus Fig. 1 und Fig. 2.

- Mit dem in Fig. 3 dargestellten Verfahren ist es möglich, jegliches störende Material zu
- 5 detektieren. Ferromagnetisches Material beispielsweise verhält sich ähnlich wie bei dem Verfahren aus Fig. 2, indem es eigene Signalanteile erzeugt. Störendes Material, in dem Wirbelströme entstehen, kann indirekt detektiert werden. Es beeinflusst mit den durch die Wirbelströme entstehenden magnetischen Gegenfeldern umliegende magnetische Partikel derart, dass sich die Beträge einzelner spektraler Komponenten des gemessenen Signals
- 10 verändern. Diese Veränderung ist durch oben erläuterte Differenzbildung mit dem Referenz-Spektrum nachweisbar.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Beeinflussung von in ein Objekt eingebrachten magnetischen Partikeln in einem Wirkungsbereich mit den Schritten:

- a) Detektion von störendem Material in oder an dem Objekt,
- b) Erzeugung eines Magnetfeldes mit einem solchen räumlichen Verlauf der magnetischen Feldstärke, dass sich in dem Wirkungsbereich ein erster Teilbereich (301) mit niedriger magnetischer Feldstärke und ein zweiter Teilbereich (302) mit höherer magnetischer Feldstärke ergibt,
- c) Veränderung der räumlichen Lage der beiden Teilbereiche in dem Wirkungsbereich, so dass die Magnetisierung der Partikel sich örtlich ändert,
- 10 d) gegebenenfalls Erfassung von Signalen, die von der durch die diese Veränderung beeinflussten Magnetisierung im Wirkungsbereich abhängen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei vor Einbringung der magnetischen Partikel in das Objekt die Detektion des störenden Materials durch Messung der Induktivitätsänderung eines 15 induktiven Mittels erfolgt, die eine Folge der Änderung des Abstandes zwischen dem Objekt und dem induktiven Mittel ist.

20 3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das induktive Mittel eines derjenigen Mittel ist, die bei der Erzeugung des Magnetfeldes, der Veränderung der räumlichen Lage der Teilbereiche und ggf. bei der Erfassung der Signale eingesetzt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei zur Detektion die Schritte b) bis d) ein erstes Mal mit einer geringeren Ortsauflösung und/oder geringeren Geschwindigkeit ausgeführt und die erfassten Signale zur Gewinnung von Informationen zumindest über das Vorhandensein von
- 5 störendem Material ausgewertet werden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die magnetischen Partikel erst nach der Detektion in das Objekt eingebracht werden.
- 10 6. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die magnetischen Partikel vor der Detektion in das Objekt eingebracht werden und wobei bei der Auswertung die erfassten Signale hinsichtlich Signalanteilen, die von störendem Material herühren, untersucht werden.
- 15 7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei störendes Material anhand der spektralen Zusammensetzung der erfassenen Signale detektiert wird.
8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei – wenn störendes Material vorhanden ist – während der Beeinflussung der magnetischen Partikel zur Veränderung der räumlichen Lage der beiden Teilbereiche Magnetfelder mit einer verringerten zeitlichen
- 20 Veränderung verwendet werden.
9. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei – wenn störendes Material vorhanden ist – während der Beeinflussung der magnetischen Partikel die Schritte b) und c) mit verringriger Ortsauflösung durchgeführt werden.

10. Anordnung zur Beeinflussung von magnetischen Partikeln in einem Wirkungsbereich mit

- a) Mitteln zur Detektion von störendem Material,
- b) Mitteln zur Erzeugung eines Magnetfeldes mit einem solchen räumlichen Verlauf der magnetischen Feldstärke, dass sich in dem Wirkungsbereich ein erster Teilbereich (301) mit niedriger magnetischer Feldstärke und ein zweiter Teilbereich (302) mit höherer magnetischer Feldstärke ergibt,
- c) Mitteln zur Veränderung der räumlichen Lage der beiden Teilbereiche in dem Wirkungsbereich,
- d) gegebenenfalls Mitteln zur Erfassung von Signalen, die von der durch die Veränderung der räumlichen Lage der Teilbereiche beeinflussten Magnetisierung im Wirkungsbereich abhängen.

11. Anordnung nach Anspruch 10 mit einer Messeinrichtung zur Messung der Induktivität von zumindest einem der induktiven Mittel, die zur Erzeugung des Magnetfeldes, zur Veränderung der räumlichen Lage der Teilbereiche und/oder zur Erfassung der Signale eingesetzt werden.

12. Anordnung nach Anspruch 10 mit einer Auswerteeinheit zur Gewinnung Informationen von über zumindest das Vorhandensein von störendem Material aus den Signalen.

20 13. Anordnung nach Anspruch 12, wobei die Auswerteeinheit dazu vorgesehen ist, die erfassten Signale hinsichtlich der von magnetischen Partikeln als auch der von störendem Material herrührenden Signalanteile zu untersuchen.

## ZUSAMMENFASSUNG

Verfahren und Anordnung zur Beeinflussung von magnetischen Partikeln.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Beeinflussung magnetischer Partikel in einem Wirkungsbereich. Solche Verfahren und Anordnungen können dazu

- 5 eingesetzt werden, die räumliche Verteilung von magnetischen Partikeln in dem Wirkungsbereich zu ermitteln oder die magnetischen Partikeln lokal zu erwärmen. Befindet sich zusätzlich zu den magnetischen Partikeln störendes Material in dem Wirkungsbereichs, so kann sich dieses unerwünscht erwärmen. Zur Vermeidung einer solchen unerwünschten Erwärmung wird eventuell vorhandenes störende Material zuvor detektiert. Ist störendes
- 10 Material vorhanden, so kann eine Untersuchung oder Behandlung mit veränderten Systemparametern durchgeführt werden.

Fig. 1

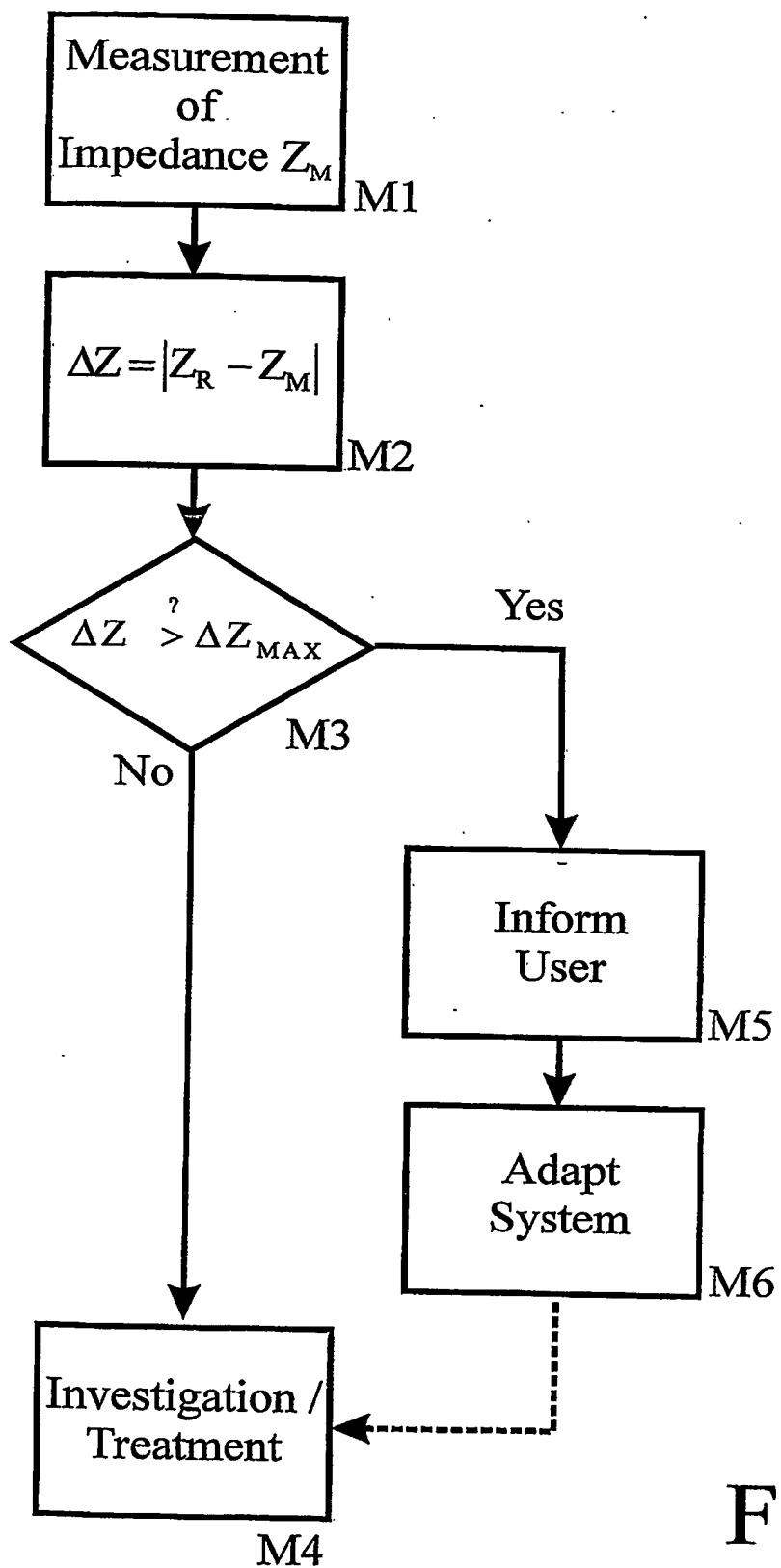


Fig. 1

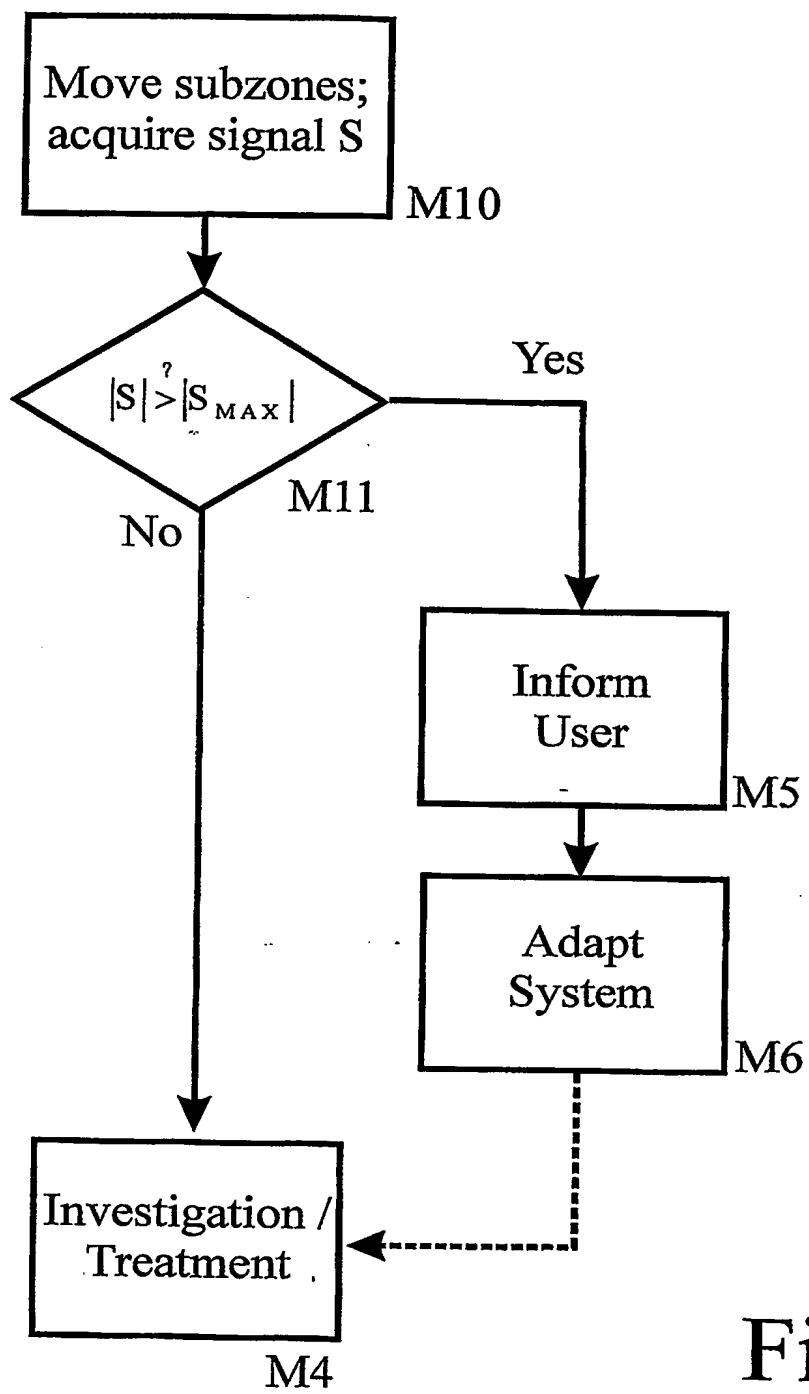


Fig. 2

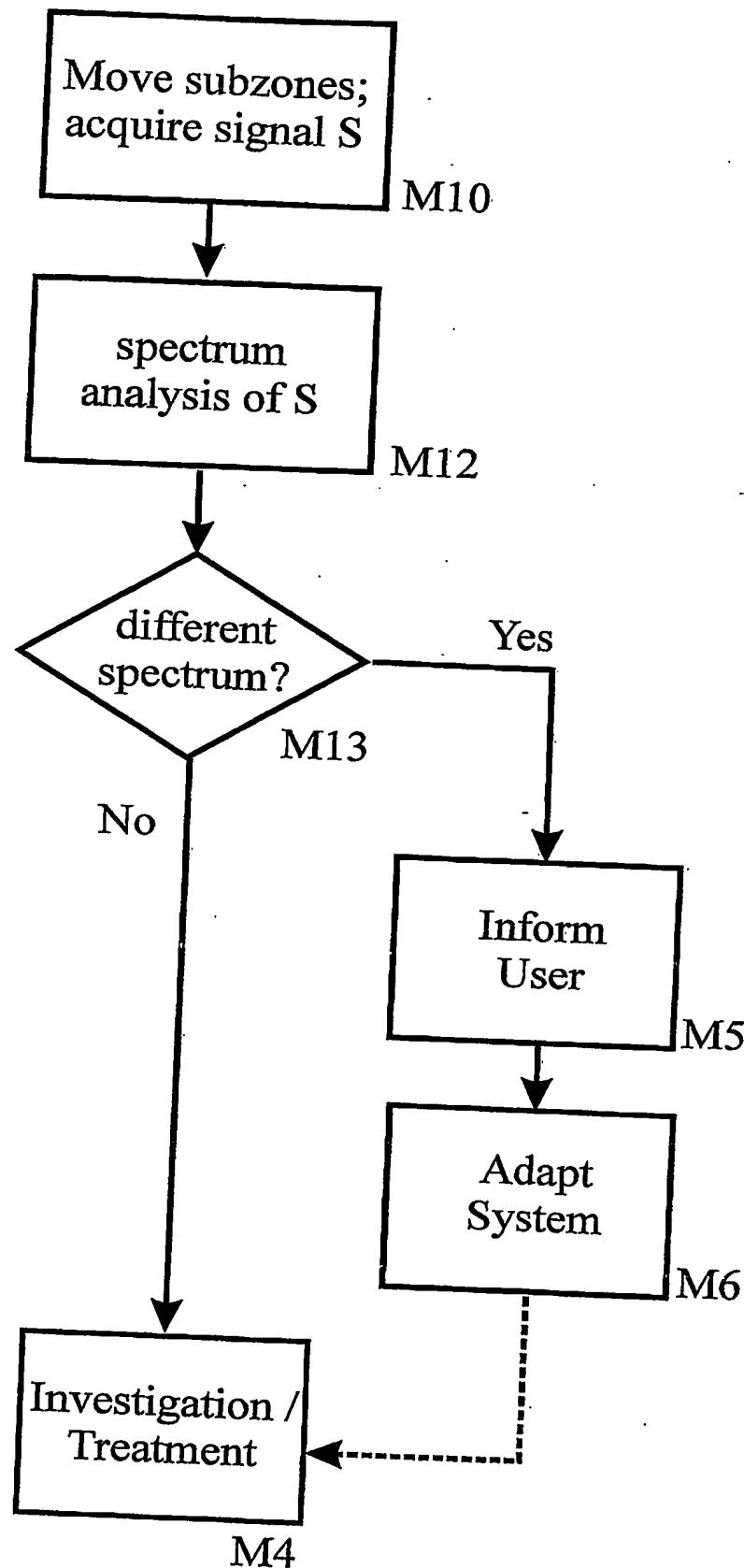


Fig. 3

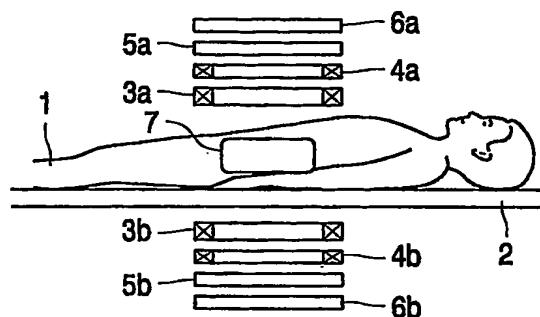


FIG. 4

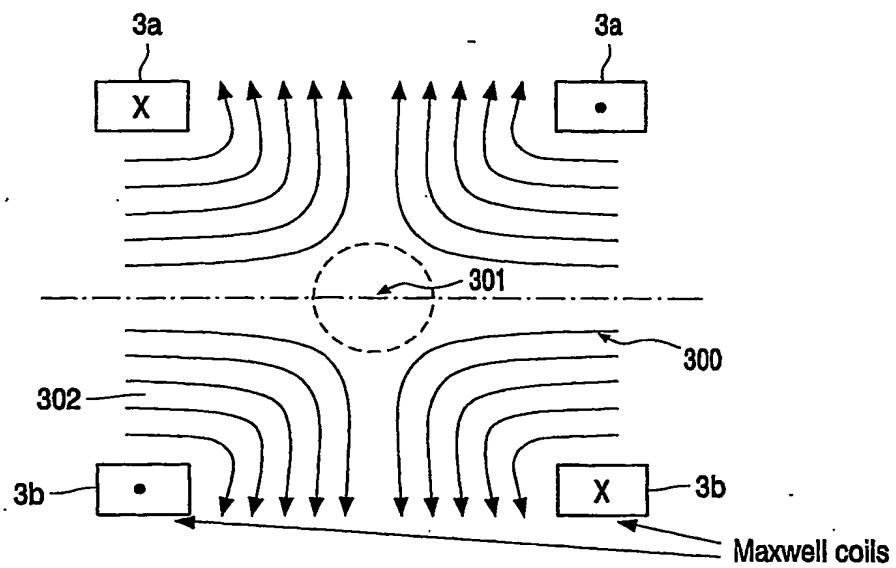


FIG. 5

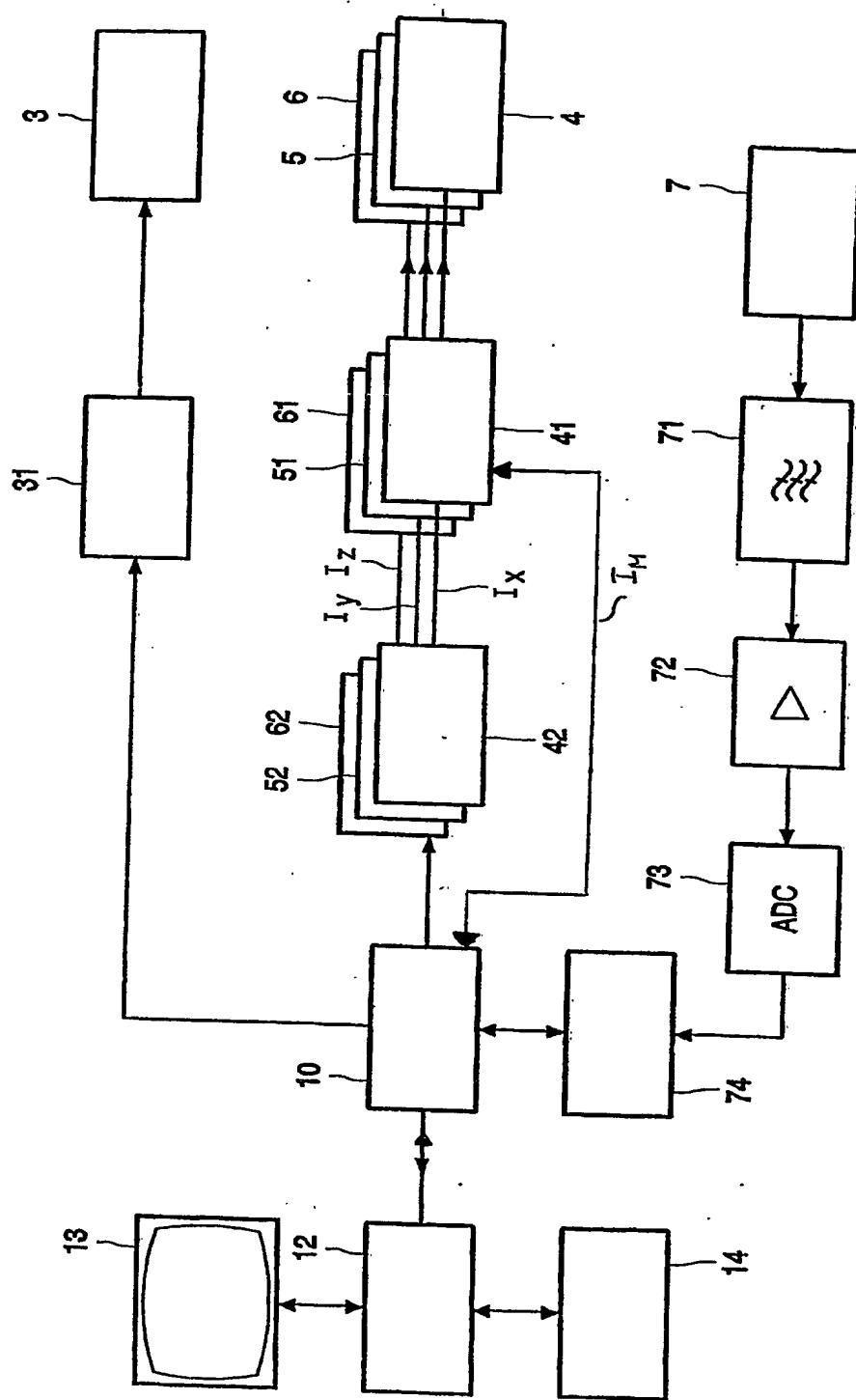


FIG. 6

PCT/IB2004/001119

